



①⑨ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ Übersetzung der  
europäischen Patentschrift

⑨⑦ EP 0945 319 B 1

⑩ DE 699 00 126 T 2

⑤① Int. Cl.<sup>7</sup>:  
**B 60 T 8/00**  
G 01 C 21/20  
B 60 G 17/015  
G 01 P 3/38

DE 699 00 126 T 2

- ②① Deutsches Aktenzeichen: 699 00 126.9  
⑨⑥ Europäisches Aktenzeichen: 99 302 038.7  
⑨⑥ Europäischer Anmeldetag: 16. 3. 1999  
⑨⑦ Erstveröffentlichung durch das EPA: 29. 9. 1999  
⑨⑦ Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung beim EPA: 30. 5. 2001  
④⑦ Veröffentlichungstag im Patentblatt: 29. 11. 2001

③⑩ Unionspriorität:

79321 P	25. 03. 1998	US
149372	08. 09. 1998	US

⑦③ Patentinhaber:

Lucent Technologies Inc., Murray Hill, N.J., US

⑦④ Vertreter:

derzeit kein Vertreter bestellt

⑧④ Benannte Vertragsstaaten:

CH, DE, ES, FR, GB, IT, LI

⑦② Erfinder:

Hart, Jr., Arthur Clifford, Chester, New Jersey  
07930, US; Kordys, Matthew A., Flanders, New  
Jersey 07836, US; Nalwa, Vishvjit Singh,  
Middletown, New Jersey 07748, US; Pingali, Sarma  
VGK, Basking Ridge, New Jersey 07920, US

⑤④ Bestimmung der dynamischen Eigenschaften von Kraftfahrzeugen

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

DE 699 00 126 T 2

ALLGEMEINER STAND DER TECHNIKErfindungsgebiet

- Die Erfindung betrifft einen Prozeß zum
- 5 Bestimmen von Dynamikeigenschaften eines Fahrzeugs, insbesondere des Schräglaufwinkels eines Kraftfahrzeugs.

Erörterung des Standes der Technik

- 10 Kraftfahrzeugrennteams sind daran interessiert, eine Vielfalt von Fahrzeugdynamiken zu messen, um die Leistung ihrer Fahrzeuge zu verbessern. Rennteams stellen insbesondere zahlreiche Parameter ihrer Fahrzeuge in Abhängigkeit von den Charakteristiken
- 15 einer bestimmten Bahn ein, zum Beispiel der Neigung von Bahnkurven und der Bahnoberfläche. Viele Rennteams verwenden sogar für die Auslegung und für das Vornehmen von Einstellungen an ihren Fahrzeugen fortgeschrittene Rechnersysteme. Siehe beispielsweise Computer Aided
- 20 Engineering, Band 10, Nr. 5, Mai 1991 auf Seite 20, wo man einen Überblick über die von Rennteams verwendeten CAD-Systeme erhält (CAD = Computer Aided Design). Die Systeme basieren in der Regel auf der Eingabe von zahlreichen Fahrzeug- und Bahnvariablen, um zum Erhalt
- 25 einer größeren Geschwindigkeit und Stabilität die beste Kombination von Fahrzeugcharakteristiken zu bestimmen.

- Eine derartige Fahrzeugcharakteristik sind die Reifen. Die an einem Rennwagen verwendeten Reifen variieren je nach den Charakteristiken der einzelnen
- 30 Bahn. An einem einzelnen Rennwagen werden in der Regel sogar vier Reifen mit verschiedenen Eigenschaften verwendet. Eine Fahreigenschaft, die die Reifenwahl wesentlich beeinflusst, ist der Schräglaufwinkel. Wie in Figur 1 wiedergegeben, die eine Draufsicht auf ein
- 35 Fahrzeug 10 darstellt, ist der Schräglaufwinkel als der Winkel ( $\alpha$ ) zwischen der Steuerrichtung (Strahl X) des Fahrers und der Fahrrichtung (Strahl Y) des Fahrzeugs definiert. Der Schräglaufwinkel ist ein wohlbekanntes

Phänomen und wird beispielsweise in Milliken et al.,  
Race Car Vehicle Dynamics, SAE International, 1995,  
erörtert, dessen Offenbarung unter Bezugnahme hier  
aufgenommen ist. Für ein bestimmtes Fahrzeug und  
5 bestimmte Reifen induzieren individuelle Rennbahnen  
verschiedene Schräglaufwinkel um die Kurven der Bahnen  
herum. Da die einzelnen Räder eines Rennwagens in der  
Regel so ausgelegt sind, daß sie während einer Drehung  
in verschiedene Richtungen steuern, kann jedes Rad  
10 sogar einen anderen Schräglaufwinkel aufweisen. Ein  
Rennteam stellt normalerweise die Reifeneigenschaften,  
z.B. Profil, Material, Breite, Durchmesser,  
Konstruktion und Druck, in Abhängigkeit von dem  
berechneten Schräglaufwinkel ein, um einen Schräglauf-  
15 winkel zu erhalten, der für eine verbesserte  
Fahrzeugleistung sorgt. Aus diesem Grund ist eine  
relativ einfache und zuverlässige Messung des  
Schräglaufwinkels in Echtzeit erwünscht.

Gegenwärtige Systeme zum Bestimmen von  
20 Eigenschaften, wie etwa Schräglaufwinkel, sind jedoch  
in der Regel kompliziert und hängen von mehreren  
getrennten Meßeinrichtungen ab, die einem Mikro-  
prozessor Informationen zuführen, der dann verschiedene  
Fahreigenschaften, auch den Schräglaufwinkel, schätzt.  
25 Die meisten dieser komplexen Systeme wurden von  
Kraftfahrzeugherstellern bei der Einführung und  
Verbesserung von Sicherheitssystemen wie etwa  
Antiblockierbremsen und Antriebsschlupfregelung  
entwickelt. Bei derartigen Sicherheitssystemen sind die  
30 Hersteller in der Regel daran interessiert, eine  
Vielfalt von Parametern zu messen und/oder zu  
berechnen, z.B. Gieren (Drehungsgrad um die vertikale  
Achse), seitliche Beschleunigung (Seite zu Seite),  
Längsbeschleunigung (vorne nach hinten), Steuerwinkel  
35 und Schräglaufwinkel. Durch diese Parameter können  
Einstellungen bei der Steuerung, der Beschleunigung  
oder dem Bremsen schnell und automatisch vorgenommen  
werden, um die Bewegung eines Kraftfahrzeugs zu regeln,  
z.B. ein Rutschen zu regeln. Siehe zum Beispiel die

US-Patente Nummern 4,679,808 ("das '808-Patent"),  
5,040,115 ("das '115-Patent") und 5,579,245 ("das '245-  
Patent"), die alle zum Berechnen eines  
Schräglaufwinkelwerts eine Vielfalt von gemessenen  
5 Eigenschaften verwenden.

In dem '808-Patent wird ein System erörtert, um  
Vorder- und/oder Hinterradsteuerwinkel zu bestimmen,  
die notwendig sind, um gewünschte Kurvenfahr-  
charakteristiken zu liefern. Ein in dem Patent  
10 beschriebenes System enthält einen Steuerradwinkel-  
sensor, einen Fahrzeuggeschwindigkeitssensor, einen  
Sensor zum Bestimmen einer ersten Bewegungsvariablen,  
wie etwa der Gierrate, einen Sensor zum Bestimmen einer  
zweiten Bewegungsvariablen, wie etwa der  
15 Gierbeschleunigung, und einen Mikroprozessor. Der  
Mikroprozessor berechnet Schätzwerte für die erste und  
zweite Bewegungsvariable auf der Grundlage eines  
mathematischen Fahrzeugmodells, des Steuerwinkels und  
der Fahrzeuggeschwindigkeit und bestimmten  
20 Fahrzeugcharakteristiken. In einigen Situationen  
erfolgen Einstellungen an der gemessenen ersten und  
zweiten Bewegungsvariablen auf der Grundlage dieser  
Schätzwerte. Dann wird auf der Grundlage der ersten und  
zweiten Bewegungsvariablen und der gemessenen  
25 Geschwindigkeit und dem gemessenen Steuerwinkel eine  
dritte Bewegungsvariable, wie etwa den  
Schräglaufwinkel, geschätzt. Das '115-Patent mißt auf  
ähnliche Weise mehrere Eigenschaften und gibt die  
Eigenschaften in einen Mikroprozessor ein, der dann auf  
30 der Grundlage der eingegebenen Daten einen geschätzten  
Schräglaufwinkel berechnet. Das '115-Patent beschreibt  
eine Ausführungsform, die eine Längsbeschleunigungs-  
überwachungseinheit, eine Seitenbeschleunigungsüber-  
wachungseinheit, einen Radgeschwindigkeitssensor und  
35 eine Arithmetikschaltung zur Aufnahme der Daten  
enthält. Die Seitenbeschleunigungsdaten werden zum  
Berechnen des Schräglaufwinkels eines Fahrzeugs mit  
einem experimentell bestimmten Schräglaufkriterium  
verglichen. Das '245-Patent verwendet bei dem Versuch,

anstelle eines aus mehreren gemessenen Variablen berechneten Schätzwerts einen 'tatsächlichen' Schräglaufwinkel bereitzustellen, ein neuronales Netz. Das System des Patents mißt insbesondere die  
5 Vorderradsteuerung, die Bewegung des Fahrzeugs, z.B. Geschwindigkeit, Seiten- und Längsbeschleunigung und Gierwinkelgeschwindigkeit, und berechnet auf der Grundlage der Steuer- und Bewegungsdaten einen geschätzten Schräglaufwinkelwert. Das neuronale Netz  
10 berechnet einen Korrekturfaktor, um einen präziseren geschätzten Schräglaufwinkelwert zu liefern.

Systeme wie die oben erörterten eignen sich zwar zum Schätzen einer Eigenschaft, wie etwa des Schräglaufwinkels, um am Bremsen, dem Steuern und/oder  
15 der Beschleunigung in einem Personenkraftwagen Einstellungen vorzunehmen, doch sind derartige Systeme unnötig kompliziert, wenn es bei der Messung hauptsächlich um den Schräglaufwinkel geht. Außerdem sind die in derartigen Systemen erforderlichen Sensoren  
20 in der Regel nicht für das rauhe Umfeld eines Rennfahrzeugs ausgelegt. Außerdem basiert bei derartigen bisherigen Systemen die Berechnung des Schräglaufwinkels auf zahlreichen Variablen, z.B. Seitenbeschleunigung, Längsbeschleunigung und  
25 seitliches Gieren, die alle einen Fehler in die Berechnung einbringen können. Angesichts der Anzahl der Variablen, die bereits in die von Rennteams verwendeten computergestützten Systeme eingegeben werden, müßte man erwarten, daß eine direktere Messung des Schräglaufwinkels den in solche Systeme eingebrachten Gesamtfehler reduziert, was zu einer verbesserten Leistung beiträgt.  
30

Aus diesem Grund wird ein relativ einfacher Prozeß zum zuverlässigen und direkteren Messen der  
35 Dynamiken eines Fahrzeugs, insbesondere des Schräglaufwinkels, gewünscht.

Aus GB-A-1 408 078 ist ein wie in dem Oberbegriff von Anspruch 1 dargelegtes Verfahren bekannt.

Aus JP-A-05.079.850 (Patent Abstracts of Japan, Band 017, Nr. 412, (P-1583)) ist ein Verfahren zum Berechnen der Gierrate eines Fahrzeugs durch Bilden einer Korrelationsfunktion von Bildern von zwei an der Vorderseite eines Fahrzeugs montierten Kameras bekannt.

#### KURZE DARSTELLUNG DER ERFINDUNG

Die Erfindung ist ein Prozeß, um beim Fahren mindestens eine Dynamik eines Fahrzeugs zu bestimmen, insbesondere den Schräglaufwinkel oder eine für den Schräglaufwinkel charakteristische Eigenschaft. Beim Prozeß wird von dem Fahrzeug selbst aus in Echtzeit optisch die Bewegung in einem oder mehreren Kamerabildern von Oberflächenmerkmalen überwacht, während das Fahrzeug über die Oberfläche fährt. (Merkmale einer Oberfläche geben optisch unterscheidbare Merkmale an, die mit dem größten Teil der Oberfläche kontrastieren, z.B. Fehler und Verfärbungen. So finden sich beispielsweise in einer Asphaltstraßenoberfläche zahlreiche Kiesel und Steine in dem Asphalt, wobei diese Kiesel optisch unterscheidbare Merkmale in der Oberfläche darstellen.) Die Richtung, in der sich zu jedem gegebenen Zeitpunkt die Oberflächenmerkmale bewegen, gibt die eigentliche Richtung der Fahrzeugbewegung bezüglich der Orientierung des optischen Überwachungsgeräts an. Aus dieser eigentlichen Bewegungsrichtung kann man zusammen mit der bekannten Orientierung des optischen Überwachungsgeräts und der Richtung, in der das Fahrzeug gesteuert wird, den Schräglaufwinkel in Echtzeit berechnen.

Bei einer Ausführungsform beispielsweise ist eine Videokamera derart auf einem Fahrzeug montiert, daß die Kamera auf den Boden gerichtet ist. (Wie hier verwendet, bezieht sich der Ausdruck Kamera auf eine Videokamera, wie etwa eine CCD-Kamera oder eine CMOS-Kamera.) Die Verschußgeschwindigkeit der Kamera ist so eingestellt, daß die Bewegung von Oberflächenmerkmalen in einem einzelnen Erfassungs-

intervall (d.h. einer einzelnen Verschußöffnung) Streifen bilden, die so groß sind, daß sie in einem einzelnen Bild (d.h. einem einzelnen Rahmen) beobachtet werden können, aber so klein sind, daß sie innerhalb  
5 dieses Einzelbilds im wesentlichen enthalten sind (siehe Figuren 2A und 2B). Wenn sich das Fahrzeug auf einer flachen Oberfläche geradeaus bewegt (wobei angenommen wird, daß die Kamera zu den Rädern ausgerichtet ist), liegen die Streifen im wesentlichen  
10 vertikal in dem ausgerichteten Bildrahmen der Kamera vor (siehe Fig. 2A). Wenn jedoch, wie oben erörtert, das Rad während der Bewegung gedreht wird, bewegt sich das Fahrzeug nicht exakt in die Radrichtung. Deshalb sind die Streifen in dem Bildrahmen während eines  
15 Abbiegens nicht vertikal (siehe Fig. 2B). Wie in Fig. 3 wiedergegeben, wird die dominante Orientierung der Streifen bestimmt, und auf der Grundlage des Winkels der dominanten Orientierung und von Referenzinformationen (z.B. bekannte Orientierung des  
20 Fahrzeugs bezüglich der Kamera) ist es möglich, den eigentlichen Schräglaufwinkel in Echtzeit zu berechnen. Aus der Länge der Streifen kann auch die Geschwindigkeit bestimmt werden. Es ist möglich, daß die Kamera an einem Rad oder am Chassis des Fahrzeugs  
25 montiert ist, oder daß zur Verbesserung der Genauigkeit der Messungen und/oder zum Berechnen des Schräglaufwinkels einzelner Räder zahlreiche Kameras verwendet werden.

Bei einer anderen Ausführungsform werden nicht  
30 die Streifen in einem einzelnen Kamerarahmen betrachtet, sondern es wird die Ortsänderung einzelner Oberflächenmerkmale in zwei aufeinanderfolgenden, eng beabstandeten Rahmen, die z.B. um ungefähr 1000  $\mu$ s beabstandet sind, überwacht, um die Richtung des  
35 Fahrens zu bestimmen. Wie in Fig. 6 wiedergegeben, werden statische Merkmale aus den einzelnen Rahmen gewonnen (d.h. von dem Rest des Bilds unterschieden), und die Bewegungsvektoren 40 der Merkmale (d.h. sowohl die Bewegungsrichtung als auch die Geschwindigkeit)

werden bestimmt. Um den dominanten Bewegungsvektor 42 zu bestimmen, werden die Vektoren einzelner Merkmale analysiert. Solche Hochgeschwindigkeitskameras sind leider gegenwärtig teuer und recht massiv. Bei einer  
5 dritten Ausführungsform werden deshalb zusammen mit einer Kamera ein oder mehrere Stroboskoplichter verwendet, so daß in einem einzelnen Kamerarahmen kurze Stroboskopblitze durchgeführt werden, z.B. zwei  
10 Stroboskopblitze von ungefähr 10  $\mu$ s in einem 1000  $\mu$ s-Kamerarahmen. Wie in Fig. 8 wiedergegeben, werden die beiden Sätze von einzelnen Merkmalen dann aus diesem einzelnen Rahmen gewonnen, und ein dominanter Bewegungsvektor 54 der Merkmale wird bestimmt.

Somit stellt die Erfindung eine im Vergleich zu  
15 bisherigen Verfahren relativ einfache und praktische Möglichkeit bereit, den Schräglaufwinkel in Echtzeit direkter und zuverlässig zu messen.

#### KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

20 Fig. 1 zeigt den Schräglaufwinkel eines Fahrzeugs.

Figuren 2A und 2B zeigen die Grundlagen einer Ausführungsform der Erfindung.

Figuren 3 und 3A zeigen die in einer  
25 Ausführungsform der Erfindung durchgeführte Analyse.

Fig. 4 zeigt eine Schablone, die bei der Analyse von Fig. 3 verwendet werden kann.

Figuren 5A und 5B zeigen eine globale Analyse eines Bilds in einer Ausführungsform der Erfindung.

30 Figuren 6, 6A und 6B zeigen die in einer anderen Ausführungsform der Erfindung ausgeführte Analyse.

Fig. 7 zeigt die in einer weiteren Ausführungsform der Erfindung durchgeführten optischen  
35 Messungen.

Fig. 8 zeigt die in der weiteren Ausführungsform der Erfindung ausgeführte Analyse.



Figuren 9 und 10 zeigen eine Vorrichtung, die sich zur Verwendung bei der Durchführung der weiteren Ausführungsform der Erfindung eignet.

## 5 AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

Bei einer ersten Ausführungsform der Erfindung wird die mit der Bewegung (z.B. Streifenbildung) von Oberflächenmerkmalen in einem einzelnen Kamerarahmen verbundene Beschaffenheit analysiert, um  
10 Fahrzeugdynamiken zu bestimmen, insbesondere den Schräglaufwinkel. Eine allgemeine Erörterung der Beschaffenheitsanalyse findet man in A. Ravishankar Rao, A Taxonomy for Texture Description and  
15 1990, deren Offenbarung durch Bezugnahme hier aufgenommen ist. Die Verschußgeschwindigkeit wird im allgemeinen auf der Grundlage der folgenden Beziehung eingestellt. Bei einem gegebenen Blickfeld  $l$  der Kamera bei Messung auf der Bodenebene entlang der Richtung  
20 parallel zu der Steuerrichtung (wobei angenommen wird, daß die Kamera derart orientiert ist, daß sie sich zusammen mit einem Rad bewegt) und einer Fahrzeuggeschwindigkeit  $v$  gilt für die Verschußbelichtungszeit  $t_s$  vorteilhafterweise:

25 
$$\frac{l}{2v} < t_s < \frac{l}{v}$$

Die Verschußgeschwindigkeit  $t_s$  ist in der Regel auf ungefähr  $0,75 \left( \frac{l}{v} \right)$  eingestellt. Beispielsweise wird der  
Rahmen in der Regel durch Belichtung über eine Zeitdauer (d.h. eine Verschußgeschwindigkeit) von  
30 ungefähr 4 ms bis ungefähr 1 ms bei Fahrzeuggeschwindigkeiten von ungefähr 100 mph oder darüber erhalten. Beim Prozeß der Erfindung verläuft die bevorzugte Blickrichtung für eine Kamera orthogonal zu der Bodenoberfläche, so daß die Bildebene parallel  
35 zu der Bodenoberfläche verläuft.

Figur 3 umreißt ein Verfahren zum Bestimmen des Schräglaufwinkels aus der Beschaffenheit eines

Straßenoberflächenbilds gemäß einer ersten Ausführungsform der Erfindung. Wie in Kasten A gezeigt, werden relevante Bereiche (RB) 30 in einem einzelnen erfaßten Bild zur weiteren Verarbeitung ausgewählt.

5 Beschränkungen bei der Echtzeitverarbeitung werden berücksichtigt, indem die Verarbeitung auf diese relevanten Bereiche (RB) konzentriert wird. So ist es beispielsweise möglich, die Anzahl der analysierten RB auf der Grundlage der zur Verfügung stehenden  
10 Verarbeitungszeit auszuwählen. Analog ist es möglich, die Größe der RB auf der Grundlage der erwarteten Merkmalsbewegung in den Bildern auszuwählen, zum Beispiel so, daß ein Streifen in einem einzelnen RB erfaßt wird. Außerdem ist es möglich, die Anzahl der in  
15 einem Bild verarbeiteten RB dynamisch zu variieren, um Echtzeitbeschränkungen zu berücksichtigen. Die RB gestatten auch die örtliche Bestimmung der Bewegungsrichtung von Straßenmerkmalen in verschiedenen Teilen des Bilds.

20 Nachdem die RB ausgewählt worden sind, erfolgt die Verarbeitung in jedem RB, wie in Kasten B von Fig. 3 wiedergegeben, um etwaige Streifen 32 zu identifizieren, die auf Merkmale auf der Straßenoberfläche hinweisen. Um diese Streifen  
25 elektronisch zu identifizieren, werden Ränder oder Punkte mit einem hohen Bildintensitätsgradienten in jedem RB identifiziert, wobei diese Ränder oder Punkte den Ort der Streifen zeigen. (Die Bildintensität gibt die Helligkeit des auf die Bildebene auftreffenden  
30 Lichts an.) Ein hoher Bildintensitätsgradient weist auf Punkte hin, wo die örtliche Änderung der Bildintensitätswerte relativ hoch ist. Die Größe des Gradienten beträgt  $\sqrt{(\Delta y)^2 + (\Delta x)^2}$ , und die Orientierung beträgt  $\tan^{-1}\left(\frac{\Delta y}{\Delta x}\right)$ , wobei  $\Delta y$  die Intensitätsänderung in  
35 der y-Richtung und  $\Delta x$  die Änderung der Intensität in der x-Richtung darstellt. (Die Überwachung der Intensität soll die Messung verwandter Eigenschaften

beinhalten, z.B. der Raumfrequenz.) Wie in Fig. 3A gezeigt, sind die Streifen 32 häufig dicker als ein einzelnes Bildelement. (In diesem Zusammenhang gibt ein Bildelement ein Element eines Bilds an, das aus der Digitalisierung eines Bilds entsteht.) Zusätzlich zu der Identifizierung des Orts der Streifen soll die Orientierung der Streifen 32 die Bestimmung der Richtung der Fahrzeugbewegung gestatten. Um die Orientierung eines Streifens 32 zu bestimmen, wird der Streifen 32 durch Verknüpfen von Randbildelementen, beispielsweise gemäß dem folgenden Prozeß, bei dem die Randbildelementerfassung und die Verknüpfung kombiniert werden, um Verarbeitungszeit zu sparen, in ein Randsegment mit der Dicke eines einzelnen Bildelements umgewandelt. (Es sind auch andere Prozesse möglich.)

Man starte in der linken unteren Ecke des RB.

1) Es wird algorithmisch von dem aktuellen Ort von links nach rechts und von unten nach oben abgetastet. Anhalten, falls sich in dem RB kein unmarkiertes Bildelement findet (d.h. ein Bildelement, das entweder kein Randbildelement ist oder noch nicht "zu sehen" ist, wie unten erörtert).

2) Beim Antreffen eines unmarkierten Bildelements wird die Gradientengröße und die Gradientenorientierung des unmarkierten Bildelements bestimmt (siehe unten). Markieren des aktuellen Orts des unmarkierten Bildelements als "Randstartort" eines neuen Randsegments. Wahl dieses neuen Randsegments als das aktuelle Randsegment.

3) Falls die Gradientengröße einen (auf der Grundlage von vorherigem Wissen gesetzten) Schwellwert übersteigt, Markierung des aktuellen Bildelements als Randbildelement. Ansonsten Markierung des aktuellen Bildelements als "gesehen". Bestimmung des benachbarten Kandidatenrandbildelements in einer 8-Bildelement-Nachbarschaft (a-d und f-i in Fig. 4) auf der Grundlage der Gradientenorientierung des aktuellen Bildelements, d.h. der acht Nachbarn des aktuellen Bildelements, Wahl

17.07.01

desjenigen Nachbarn, der der berechneten Gradientenorientierung des aktuellen Bildelements am nächsten liegt. Falls das benachbarte Kandidatenbildelement bereits (als ein Randbildelement oder als gesehen) markiert ist: Beenden des aktuellen Randsegments, Speichern des aktuellen Randsegments, Bewegen zu dem "Randstartort" und Wiederholung ab Schritt 1.

4) Falls das benachbarte Kandidatenbildelement unmarkiert ist, Markieren der verbleibenden unmarkierten benachbarten Bildelemente um das aktuelle Bildelement herum als "gesehen" und Bewegen zu dem in Schritt 3 bestimmten unmarkierten benachbarten Bildelement. Wiederholung ab Schritt 2.

15

Die Gradientengröße bei einem aktuellen Bildelement in Schritt 2 ist gegeben durch  $S = \sqrt{S_x^2 + S_y^2}$ , während die Gradientenorientierung gegeben ist durch  $\phi = \tan^{-1}(S_y / S_x)$ ,

20 wobei:

$$S_x = (c + 2f + i) - (a + 2d + g)$$

und

$$S_y = (g + 2h + i) - (a + 2b + c),$$

wobei a, b, c, d, f, g, h, i den Intensitätswerten der Bildelemente neben dem aktuellen Bildelement e entsprechen, wie in Fig. 4 gezeigt. Solche Randerfassungsverfahren werden beispielsweise in I. Sobel, "Camera models and machine perception", AIM-21, Stanford AI Lab, Mai 1970 erörtert, dessen Offenbarung hierdurch unter Bezugnahme aufgenommen ist.

Nach der Identifizierung von Randsegmenten in dem RB wird die Orientierung jedes Randsegments geschätzt, indem die am besten passenden Linie zu den Punkten auf dem Randsegment bestimmt wird. Eine relativ schnelle Annäherung an diese am besten passende Linie gewinnt man unter anderem wie folgt. Die Endpunkte der Randsegmente werden, wie in Kasten C von Fig. 3 gezeigt, durch eine gerade Linie verbunden, und die

Anzahl der Randsegmentpunkte, die nahe an der Linie 34 liegen, werden geprüft. Falls eine ausreichende Anzahl von Punkten nahe an der Linie 34 liegt (z.B. liegen mindestens 95% der Punkte innerhalb von 2 Bildelementen der Linie), wird die Linie 34 als eine gute Annäherung an das Randsegment betrachtet, und die Orientierung des Segments ist durch die Orientierung der Linie 34 gegeben. Ansonsten wird das Randsegment als ungünstig angesehen. Falls die meisten (z.B. ungefähr 50% oder darüber) der Randsegmente in einem RB ungültig sind, wird der RB als ungültig angesehen. Ansonsten wird, wie in Kasten D von Fig. 3 gezeigt, die dominante Orientierung 36 in dem RB aus den gültigen Randsegmenten in dem RB geschätzt. Diese dominante Orientierung 36 kann erhalten werden, indem zuerst ein Histogramm von Orientierungen von Randsegmenten berechnet wird. Die Spitze in dem Histogramm entspricht der dominanten Orientierung in dem RB, und der eigentliche Wert wird in der Regel durch eine mittlere gewichtete Summe von Orientierungen der Randsegmente berechnet, deren Orientierungen in einem kleinen Bereich (z.B.  $2^\circ$  oder weniger) um die Spitze in dem Histogramm herum liegen. Die dominante Orientierung kann auch durch die Verwendung der Hough-Transformierten gefunden werden, wie in dem US-Patent Nr. 3,069,654 erörtert. Diese Arten von Verfahren zum Bestimmen einer dominanten Orientierung werden beispielsweise in V. Nalwa, A Guided Tour of Computer Vision, Addison-Wesley (1993) erörtert. Die Orientierung jedes Randsegments wird mit der Anzahl von Bildelementen in dem Segment gewichtet. Falls das Histogramm keine eindeutige Spitze aufweist (d.h. eine eindeutige Spitze, die mindestens 50% der Bildelemente in einem kleinen Fenster ( $2^\circ$  oder weniger) um die Spitze herum wiedergibt), wird der RB als ungültig angesehen. Falls die dominante Orientierung eines bestimmten RB sich deutlich von der dominanten Orientierung der meisten RB unterscheidet, wird analog der bestimmte RB als ungültig angesehen. Solche ungültigen RB geben

oftmals störende Straßenmerkmale, wie etwa Straßenschutz, wider.

Nach der Bestimmung der dominanten Orientierung in gültigen einzelnen RB wird der globale Wert der Orientierung für das ganze Bild bestimmt, indem ein Histogramm von Orientierungen von gültigen RB gebildet wird, die Spitze in dem Histogramm erfaßt wird und die mittlere Orientierung für RB gefunden wird, deren Orientierungen in einem kleinen Bereich (z.B.  $2^\circ$  oder weniger) um die Spitze herum liegen. Diese Berechnung ergibt den Winkel der Fahrzeugbewegung in einem Koordinatensystem auf der Grundlage der Kameraorientierung. Schließlich ist es möglich, den Schräglaufwinkel zu bestimmen, indem der berechnete Winkel von einem Referenzwinkel subtrahiert wird, der einer Bewegung ohne Schräglauf entspricht (d.h. der Winkel, in den das Rad gesteuert wird). Aus der Länge gültiger Randsegmente kann auch die Geschwindigkeit des Fahrzeugs bestimmt werden. Es wird beispielsweise eine dominante Randsegmentlänge von gültigen Randsegmenten erhalten, indem die Spitze des Histogramms von Längen von gültigen Randsegmenten berechnet wird, und die Geschwindigkeit wird unter Verwendung der bekannten Verschlußgeschwindigkeit aus dieser dominanten Randsegmentlänge bestimmt.

Diese Technik ist eine Möglichkeit, wie eine Analyse der überwachten Streifen vorgenommen werden kann. Es sind auch andere Arten der Analyse geeignet, die auf ähnliche Weise die mittlere oder dominante Bewegung bestimmen. So kann man beispielsweise, anstatt sich in relevanten Bereichen einzelne Streifen anzusehen, das ganze Bild global analysieren. Eine Möglichkeit, wie dies geschehen kann, ist durch eine Frequenzbereichsanalyse. So wandelt die Fourier-Transformation eines Bilds das Bild aus dem Raumbereich in ein gleichwertiges Bild im Frequenzbereich um. Falls das Bild orientierte Streifen in dem Raumbereich aufweist, wird das Frequenzbereichsbild eine höchste integrierte Größe und eine höhere Spreizung entlang

einem Winkel orthogonal zu der Orientierung der Streifen und durch den Ursprung in dem Frequenzbereich aufweisen, wie schematisch in Figuren 5A und 5B dargestellt. Diese Technik entspricht im wesentlichen dem Finden der Richtung, in der die Autokorrelation des Bilds einen Höchstwert aufweist.

Die Orientierung ( $\theta$ ) der Streifen wird erhalten aus:

$\theta = 90^\circ - \hat{\phi}$ , wobei  $\hat{\phi}$  die Orientierung ist, entlang derer die Größe in dem Fourier-Bereich am größten ist. Das Bild in dem Fourier-Bereich  $I(u,v)$  kann als  $I(\omega, \phi)$  ausgedrückt werden, wobei  $u = \omega \cos \phi$  ist und  $v = \omega \sin \phi$  ist. Dann wird eine Orientierungsprojektionsfunktion  $H(\phi)$  entlang verschiedener Orientierungen in dem Frequenzbereich berechnet, wobei  $H(\phi) = \sum_{\omega_{\min}}^{\omega_{\max}} |I(\omega, \phi)|$ . Der

Winkel  $\hat{\phi}$ , für den  $H(\phi)$  am größten ist, bestimmt die Orientierung ( $\theta$ ) der Streifen in dem Bild gemäß  $\theta = 90^\circ - \hat{\phi}$ . (Bei einer derartigen Frequenzbereichsanalyse ist es zudem möglich, falls die Grenzen für den Schräglaufwinkel und die Orientierung der Kamera bezüglich der Steuerrichtung bekannt sind, die Verarbeitung zu erleichtern, indem die Analyse auf einen Bereich von Orientierungen beschränkt wird, d.h.  $|\phi_{\max}| < \phi < |\phi_{\min}|$ , wobei  $\phi_{\max}$  und  $\phi_{\min}$  jeweils den erwarteten größten und kleinsten Schräglaufwinkel darstellen.) Ähnliche globale Frequenzanalysen sind für den Fachmann offensichtlich.

Bei einer zweiten Ausführungsform wird die Bewegung, d.h. die Ortsänderung, einzelner Oberflächenmerkmale in aufeinanderfolgenden, eng beabstandeten Rahmen, die z.B. um etwa 0,25 ms bis ungefähr 1 ms beabstandet sind, überwacht, um die Fahrrichtung und wahlweise die Geschwindigkeit zu bestimmen. Üblicherweise werden zwei aufeinanderfolgende Rahmen analysiert, obwohl es auch möglich ist, drei oder mehr Rahmen zu analysieren. Zudem sind in der Regel aufeinanderfolgende Rahmen

erforderlich, um die Ortsänderung einzelner Merkmale zu analysieren, doch ist es auch möglich, Rahmen zu überspringen, falls eine derartige Ortsänderung immer noch überwacht werden kann. Fig. 6 zeigt die Schritte

5 beim Bestimmen der Geschwindigkeit gemäß dieser Ausführungsform. Bilder werden in aufeinanderfolgenden Rahmen A, A' erfaßt, wobei bei Fahrzeuggeschwindigkeiten von 100 mph oder darüber eine relativ hohe Geschwindigkeit, z.B. eine

10 Verschlußgeschwindigkeit von ungefähr 10  $\mu$ s oder schneller, verwendet wird. Die Verschlußgeschwindigkeit liegt vorteilhafterweise unter  $\frac{1}{v_n}$ , wobei 1 das (auf

der Bodenebene gemessene) Blickfeld entlang der Richtung parallel zu der Steuerrichtung ist, n die

15 Anzahl der Bildelemente in der Bildebene entlang dieser gleichen Richtung ist und v die Geschwindigkeit des Fahrzeugs ist (wobei wieder angenommen wird, daß die Kamera so orientiert ist, daß sie sich zusammen mit einem Rad bewegt). Aus den einzelnen Rahmen A, A' werden

20 dann statische Merkmale 41, 41' gewonnen. Die gewonnenen Merkmale 43 des ersten Rahmens A werden mit ihrem Ort 43' in dem darauffolgenden Rahmen A' abgestimmt, und die Bewegungsvektoren 40 (d.h. Vektoren, die sowohl Geschwindigkeit als auch Richtung

25 anzeigen) der abgestimmten Merkmale werden bestimmt. Ein dominanter Bewegungsvektor 42 wird durch Mittelung der Bewegungsvektoren 40 der einzelnen Oberflächenmerkmale berechnet. Aus dem dominanten Bewegungsvektor 42 werden

30 Kamerakalibrierungsinformationen verwendet, um den Winkel der Bewegung der Oberfläche in einem mit der Kamera verbundenen Koordinatensystem zu bestimmen, und die Fahrzeuggeschwindigkeit kann ebenfalls bestimmt werden. Der Schräglaufwinkel wird durch Subtrahieren

35 des berechneten Bewegungswinkels von einem Referenzwinkel berechnet, der der Bewegung ohne Schräglauf (d.h. der Steuerrichtung) entspricht.



Die einzelnen Merkmale 41,41' in aufeinanderfolgenden Rahmen können durch eine Vielzahl von Techniken gewonnen werden, einschließlich Schwellwertbildung, die beispielsweise in 5 US-A-5,764,283 erörtert wird, deren Offenbarung durch Bezugnahme hier aufgenommen ist. So werden beispielsweise Gebiete mit hoher Intensität in einem Rahmen durch Schwellwertbildung der Intensitätswerte in dem Bild gefunden. Unter Schwellwertbildung wird 10 verstanden, Bildelemente mit Intensitätswerten zurückzuhalten, die über einem bestimmten gewählten Schwellwert, z.B. 80%, eines maximalen Intensitätswerts liegen. (Der maximale Intensitätswert ist in der Regel entweder ein im voraus gewählter Wert oder er wird auf 15 der Grundlage des jeweiligen analysierten Rahmens ausgewählt.) Insbesondere wird bei einer Ausführungsform Bildelementen mit einer über diesem Schwellwert liegenden Intensität ein Wert 1 zugewiesen, und den übrigen Bildelementen wird ein Wert 0 20 zugewiesen. (Siehe Fig. 6A, in der die quadratischen Gebiete Bildelemente darstellen.) Bildelemente mit einem Wert 1 werden dann wie folgt zu Gebieten gruppiert. (Siehe Fig. 6B, eine Nahansicht eines Teils von Fig. 5A. Die quadratischen Gebiete in Fig. 6B 25 stellen Bildelemente dar.)

1) Das aktuelle Bildelement erhält eine eindeutige Gebietskennung L;

2) Es wird bestimmt, ob irgendwelche der dem aktuellen Bildelement benachbarten Bildelemente 30 (m, n, o, p, q, r, s, t) einen Wert 1 aufweisen;

3) Wenn kein benachbartes Bildelement einen Wert 1 aufweist, Anhalten;

4) Für jeden Nachbarn mit einem Wert 1 ab Schritt (1) wiederholen.

35 Durch diesen Prozeß werden benachbarte Bildelemente zu Gebieten von Bildelementen mit einem Wert 1 gruppiert. In der Regel werden Gebiete mit zu wenigen Bildelementen mit Wert 1, z.B. weniger als 5, verworfen. Die resultierenden elektronischen

Bildelementgruppierungen stellen gewonnene Merkmale 43, 43' dar, die Straßenoberflächenmerkmale darstellen.

Die Abstimmung geschieht in der Regel, indem in einem Rahmen nach einem gewonnenen Merkmal mit  
5 Charakteristika gesucht wird, die einem anderen gewonnenen Merkmal ähnlich sind. Eine derartige Ähnlichkeit wird in der Regel durch die Intensitätscharakteristika von Oberflächenmerkmalen, die Merkmalsgröße und/oder die Merkmalskonturen  
10 bestimmt. So wird beispielsweise für jedes gewonnene Gebiet in einem Rahmen am Ort  $x, y$  in einer Nachbarschaft  $(N_x, N_y)$  von  $x, y$  in dem aufeinanderfolgenden Rahmen nach abgestimmten Gebieten gesucht. Das Maß der Abstimmung zwischen zwei  
15 beliebigen Gebieten ist gegeben durch  $d = \Delta A + \Delta I_m + \Delta e$ , wobei  $\Delta A$  die flächenmäßige Differenz zwischen den beiden Gebieten (in Form einer Anzahl von Bildelementen) darstellt,  $\Delta I_m$  die Differenz der mittleren Intensität von Bildelementen in zwei Gebieten  
20 und  $\Delta e$  die Differenz der Exzentrizitäten der beiden Gebiete darstellen. (Wie in der Technik bekannt, ist die Exzentrizität das Verhältnis der maximalen Sehne A in einem Gebiet zu der maximalen Sehne B senkrecht zu A im gleichen Gebiet.) Das am besten abgestimmte Gebiet  
25 in dem aufeinanderfolgenden Rahmen ist dasjenige, für das  $d$  am kleinsten ist. (Siehe auch die Erörterung von Gewinnung und Abstimmung in US-A-5,764,283, auf das oben Bezug genommen wurde).

Der Bewegungsvektor wird unter Verwendung von  
30 Prozessen bestimmt, wie sie beispielsweise in Abschnitt III von J. Aggarwal und N. Nandhakumar, "On the Computation of Motion from Sequences of Images - A review", Proceedings of the IEEE, Band 76, Nr. 8, August 1988 bei 917 erörtert werden, wobei diese  
35 Offenbarung durch Bezugnahme hier aufgenommen ist. Der Bewegungsvektor ist in der Regel die die Schwerpunkte der abgestimmten Gebiete verbindende Linie.

Bei dieser Ausführungsform ist es möglich, eine Lichtquelle (in der Regel ein Stroboskoplicht oder

einen Ringblitz) zu verwenden, die während der Kamerabelichtung blitzt. So kann ein verbessertes Bild erhalten werden, da kleinere Kameraöffnungen und Belichtungen verwendet werden können, wodurch die

5 Schärfentiefe der Kamera vergrößert und ihre Bewegungsverwischung reduziert wird. Um eine erwünschte Beleuchtung zu liefern, wird das Stroboskop oder der Blitz vorteilhafterweise so nahe wie möglich an der Kamera platziert und in die gleiche Richtung wie die

10 Kamera ausgerichtet.

Eine dritte Ausführungsform gestattet die Verwendung einer Analyse ähnlich der zweiten Ausführungsform, ohne daß aber eine derartige Hochgeschwindigkeitskamera notwendig wäre. Insbesondere

15 wird eine Kamera in Verbindung mit einer Lichtquelle, in der Regel ein Stroboskoplicht, verwendet, so daß Stroboskopblitze beispielsweise zweimal in einem einzelnen Kamerarahmen durchgeführt werden. Die typische Verschußgeschwindigkeit der Kamera liegt für

20 Fahrzeuggeschwindigkeiten von 100 mph oder darüber im Bereich von 0,25 ms bis 2 ms. Die beiden mit Stroboskoplicht aufgenommenen Bilder sind im allgemeinen durch eine Periode getrennt, die von  $\frac{0,25 \text{ l}}{v}$  bis  $\frac{0,75 \text{ l}}{v}$  reicht, wobei l das (auf der

25 Bodenebene gemessene) Blickfeld entlang der Richtung parallel zu der Steuerrichtung ist und v die Geschwindigkeit des Fahrzeugs ist (wobei wieder angenommen wird, daß die Kamera so orientiert ist, daß sie sich zusammen mit einem Rad bewegt).

30 Dementsprechend liegt die Verschußgeschwindigkeit im allgemeinen bei ungefähr  $\frac{0,3 \text{ l}}{v}$  bis  $\frac{0,8 \text{ l}}{v}$ . Bei dieser Ausführungsform werden zwei überlappende Bilder der Oberfläche zu zwei Zeitpunkten in einem einzelnen Rahmen erfaßt. Siehe zum Beispiel Fig. 7, die eine bei

35  $t=0$  beginnende 1000  $\mu\text{s}$ -Kamerabelichtung zeigt. Ein erster 10  $\mu\text{s}$ -Stroboskopblitz wird bei  $t=200$  durchgeführt, und ein zweiter 10  $\mu\text{s}$ -Stroboskopblitz bei

t=800. Eine Technik zum Analysieren des durch diese Ausführungsform erhaltenen Bilds ist in Fig. 8 dargestellt. Der Rahmen 50 enthält überlappende Bilder, die einzelne Oberflächenmerkmale enthalten. Die  
5 einzelnen Oberflächenmerkmale werden gewonnen und abgestimmt, und aus den abgestimmten Merkmalen werden Bewegungsvektoren 52 bestimmt. Aus den Bewegungsvektoren 52 wird ein dominanter Bewegungsvektor 54 berechnet, und wie oben erörtert  
10 wird aus dem dominanten Bewegungsvektor 54 der Winkel der Bewegung der Oberfläche in einem mit der Kamera verbundenen Koordinatensystem zusammen mit der Fahrzeuggeschwindigkeit bestimmt. Der Schräglaufwinkel wird wie oben erörtert berechnet. Die Gewinnung, die  
15 Abstimmung und die Bestimmung der einzelnen und dominierenden Bewegungsvektoren erfolgt wie in der vorausgegangenen Ausführungsform erörtert. Wegen der Überlappung der Bilder kommt es bei dieser Ausführungsform im Vergleich zu der vorausgegangenen  
20 Ausführungsform, in der aufeinanderfolgende Rahmen analysiert wurden, in der Regel zu einer bestimmten Verwischung, aber die Verwischung tritt in einem geringeren Ausmaß auf als bei einer typischen kontinuierlichen Belichtung von 1000  $\mu$ s oder darüber.

25 Vorrichtungen, die sich für die Ausführung dieser dritten Ausführungsform eignen, sind in den Figuren 9 und 10 gezeigt. Fig. 9 zeigt eine Vorrichtung, die an einem Fahrzeug 60 montiert ist, das über eine Oberfläche 61 fährt. Die Vorrichtung enthält  
30 ein einzelnes Stroboskoplicht 62 zusammen mit einer Kamera 64. Ein Signal von einem Auslösersignalgenerator öffnet den Verschuß der Kamera 64, wobei das Signal in eine erste Verzögerung eintritt, bevor es einen ersten Stroboskopblitz auslöst, und dann in eine zweite  
35 Verzögerung, bevor es einen zweiten Stroboskopblitz auslöst. Der Verschuß schließt sich, und der Prozeß wiederholt sich, z.B. gemäß der in Fig. 7 gezeigten Zeitlinie. Das in Fig. 9 gezeigte Abschattungsrohr 66 ist wahlweise enthalten, damit der Stroboskopblitz im

ganzen Blickfeld der Kamera die dominierende Lichtquelle sein kann.

Fig. 10 zeigt eine Vorrichtung, die an einem Fahrzeug 70 montiert ist, das über eine Oberfläche 72 fährt. Die Vorrichtung enthält zwei Stroboskoplichter 73, 74 in Verbindung mit einer Kamera 76. Ein Signal von einem Auslösersignalgenerator öffnet den Verschuß der Kamera 76, wobei das Signal in eine erste Verzögerung eintritt, bevor es einen ersten Stroboskopblitz von dem ersten Stroboskoplicht 73 auslöst, und dann eine zweite Verzögerung, bevor es einen zweiten Stroboskopblitz von dem zweiten Stroboskoplicht 74 auslöst. Der Verschuß schließt sich und der Prozeß wiederholt sich, z.B. gemäß der Zeitlinie von Fig. 7. Wie in Fig. 9 wird wahlweise ein Abschattungsrohr 78 verwendet. Durch die Verwendung von zwei Stroboskoplichtquellen kann im Gegensatz zu einer einzelnen Quelle jede Quelle Blitze mit größeren Verzögerungen zwischen ihnen liefern.

Bei dem Prozeß der Erfindung sind der Aufbau und die Anbringung von Kameras, Stroboskoplichtern und zugeordneten Geräten in der Regel für einzelne Fahrzeuge spezifisch. Die Struktur eines Fahrzeugs bestimmt teilweise, wo die Geräte angebracht werden können. Es müssen auch Fahrzeugmerkmale, wie etwa Aerodynamik und Schwingungen, berücksichtigt werden. Wünschenswerte Anordnungen von Geräten können von Leuten, die sich mit Fahrzeugen und Kamerageräten auskennen, leicht festgestellt werden.

Was Kamerageräte anbetrifft, so haben beispielsweise typische NTSC-Kameras mit Zeilensprungabtastungen ein Feld von ungefähr 240 Zeilen (vertikal) und 640 Spalten (horizontal). Der vertikale Bildelementabstand beträgt in der Regel das Doppelte des horizontalen Bildelementabstands, was zu einem Seitenverhältnis horizontal zu vertikal von 4:3 führt. Es ist deshalb möglich, zwischen mit Stroboskoplicht aufgenommenen Rahmen längere Streifen oder längere Abstände zu erhalten, wenn die Kamera so

orientiert ist, daß ihre horizontale Abmessung parallel zu der Steuerrichtung verläuft. Mit der vertikalen Abmessung parallel zu der Steuerrichtung wird jedoch eine höhere Winkelauflösung erhalten. Je nach dem  
5 erwarteten Schräglaufwinkel ist es somit möglich, die Kamera so zu orientieren, daß die Auflösung verbessert wird. Außerdem ist es möglich, zwei orthogonal zueinander orientierte Kameras zu verwenden, um die Genauigkeit des gemessenen Schräglaufwinkels zu  
10 verbessern.

Nach Betrachtung der Spezifikation und der Praxis der hier offenbarten Erfindung sind für den Fachmann weitere Ausführungsformen der Erfindung offensichtlich.

## Ansprüche

1. Prozeß zum Bestimmen einer Fahrzeugdynamik beim Fahren, mit den folgenden Schritten:

5 Überwachen der Bewegung von Merkmalen in einer Oberfläche, über die ein Fahrzeug fährt; und

Analysieren der Bewegung, um mindestens eine Fahrzeugdynamik zu bestimmen, beispielsweise die Richtung der Fahrzeugbewegung und/oder die Geschwindigkeit des Fahrzeugs, vorzugsweise auch den Schräglaufwinkel, dadurch gekennzeichnet, daß

der Schritt des Überwachens mit Hilfe einer Kamera durchgeführt wird,

15 der Schritt des Analysierens das Analysieren der Oberflächenbeschaffenheit der Merkmale in einem einzelnen Kameraformatbild umfaßt und

die Oberflächenbeschaffenheitsanalyse folgendes umfaßt:

20 Identifizieren von Rändern oder Punkten mit einem hohen Bildintensitätsgradienten in dem Kameraformatbild;

Berechnen der Orientierung eines mit den Rändern oder Punkten mit einem hohen Bildintensitätsgradienten verbundenen Randsegments; und

25 Bestimmen einer dominierenden Orientierung der Randsegmente.

2. Prozeß zum Bestimmen einer Fahrzeugdynamik beim Fahren, mit den folgenden Schritten:

30 Überwachen der Bewegung von Merkmalen in einer Oberfläche, über die ein Fahrzeug fährt; und

Analysieren der Bewegung, um mindestens eine Fahrzeugdynamik zu bestimmen, beispielsweise die Richtung der Fahrzeugbewegung und/oder die Geschwindigkeit des Fahrzeugs, vorzugsweise auch den Schräglaufwinkel, 35 dadurch gekennzeichnet, daß

der Schritt des Überwachens mit Hilfe einer Kamera durchgeführt wird,

der Schritt des Analysierens das Analysieren der Oberflächenbeschaffenheit der Merkmale in einem einzelnen Kameraformatbild umfaßt und

die Kameraverschlußgeschwindigkeit  $t_s$  in den  
 5 Bereich  $\frac{1}{2v} < t_s < \frac{1}{v}$  fällt, wobei  $l$  das Blickfeld der Kamera in der Steuerrichtung und  $v$  die Fahrzeuggeschwindigkeit ist.

3. Prozeß zum Bestimmen einer Fahrzeugdynamik beim Fahren, mit den folgenden Schritten:

10 Überwachen der Bewegung von Merkmalen in einer Oberfläche, über die ein Fahrzeug fährt; und

Analysieren der Bewegung, um mindestens eine Fahrzeugdynamik zu bestimmen, beispielsweise die Richtung der Fahrzeugbewegung und/oder die Geschwindigkeit  
 15 des Fahrzeugs, vorzugsweise auch den Schräglaufwinkel, dadurch gekennzeichnet, daß

der Schritt des Überwachens mit Hilfe einer Kamera durchgeführt wird,

der Schritt des Überwachens der Bewegung das  
 20 Überwachen individueller Merkmale der Oberfläche in mindestens zwei aufeinanderfolgenden Kameraformatbildern umfaßt und

die Kamera mit einer Verschlußgeschwindigkeit von unter  $\frac{1}{vn}$  arbeitet, wobei  $l$  das Blickfeld in der  
 25 Steuerrichtung,  $n$  die Anzahl von Bildelementen in der Bildebene entlang der Steuerrichtung und  $v$  die Geschwindigkeit des Fahrzeugs ist.

4. Prozeß nach Anspruch 3, wobei der Schritt des Analysierens folgendes umfaßt:

30 Abstimmen individueller Merkmale in den mindestens zwei aufeinanderfolgenden Bildern;

Bestimmen von Bewegungsvektoren für die abgestimmten Merkmale; und

Bestimmen eines dominanten Bewegungsvektors.

35 5. Prozeß zum Bestimmen einer Fahrzeugdynamik beim Fahren, mit den folgenden Schritten:



Überwachen der Bewegung von Merkmalen in einer Oberfläche, über die ein Fahrzeug fährt; und

Analysieren der Bewegung, um mindestens eine Fahrzeugdynamik zu bestimmen, beispielsweise die Richtung der Fahrzeugbewegung und/oder die Geschwindigkeit des Fahrzeugs, vorzugsweise auch den Schräglaufwinkel, dadurch gekennzeichnet, daß

der Schritt des Überwachens der Bewegung mit mindestens einem Stroboskoplicht in Kombination mit einer Kamera derart durchgeführt wird, daß während einer einzelnen Kameraformatbelichtung mindestens zwei Stroboskopblitze durchgeführt werden und

die Stroboskopblitze durch einen Zeitraum im Bereich von  $\frac{0,25l}{v}$  bis  $\frac{0,75l}{v}$  getrennt sind und die Kamera mit einer Verschußgeschwindigkeit im Bereich von  $\frac{0,3l}{v}$  bis  $\frac{0,8l}{v}$  arbeitet, wobei  $l$  das Blickfeld in der Steuer- richtung und  $v$  die Geschwindigkeit des Fahrzeugs ist.

6. Prozeß nach Anspruch 5, wobei der Schritt des Analysierens folgendes umfaßt:

20 Abstimmen individueller Merkmale in dem einzelnen Kameraformatbild;

Bestimmen von Bewegungsvektoren für die abge- stimmten Merkmale; und

Bestimmen eines dominanten Bewegungsvektors.

25 7. Prozeß nach Anspruch 5 oder 6, wobei der Schritt des Analysierens weiterhin folgendes umfaßt:

Berechnen des Winkels der Fahrzeugbewegung aus dem dominanten Bewegungsvektor; und

Bestimmen des Schräglaufwinkels aus dem Winkel der Fahrzeugbewegung.

8. Prozeß nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Schritt des Überwachens mit einer Kamera durchgeführt wird, die so angebracht ist, daß sie die Ausrichtung auf ein Rad des Fahrzeugs derart beibehält, daß eine Richtung im Blickfeld der Kamera parallel zu der Steuerrichtung des Fahrzeugs verläuft.

9. Prozeß nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei zwei oder mehr Kameras an dem Fahrzeug angebracht sind, um die Bewegung der Merkmale zu überwachen.
10. Prozeß nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
5 weiterhin mit dem Schritt des Überwachens des Steuerwinkels.
11. Fahrzeug mit einer Vorrichtung zum Bestimmen einer Fahrzeugdynamik beim Fahren, wobei die Vorrichtung so ausgelegt und angeordnet ist, daß sie einen  
10 Prozeß nach einem der vorhergehenden Ansprüche ausführt.

FIG. 1

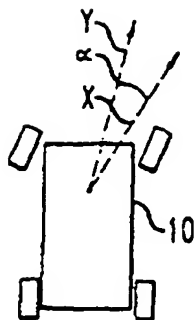
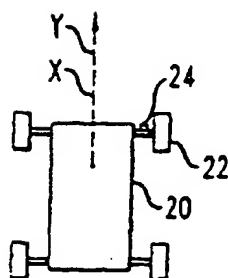
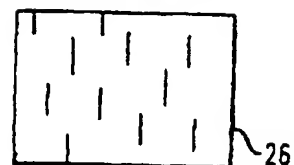


FIG. 2A

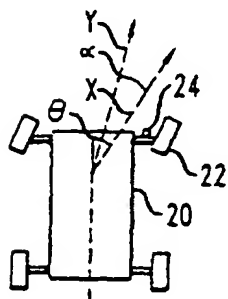


KAMERABILD



5

FIG. 2B



KAMERABILD

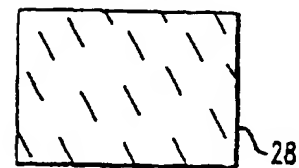


FIG. 3

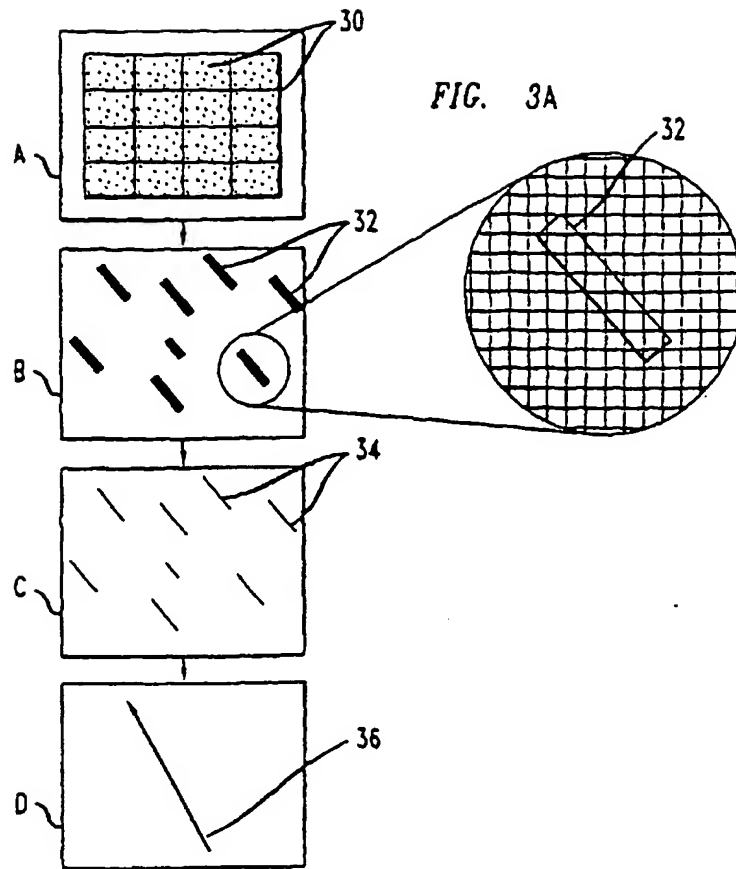


FIG. 4

a	b	c
d	e	f
g	h	i

FIG. 5A

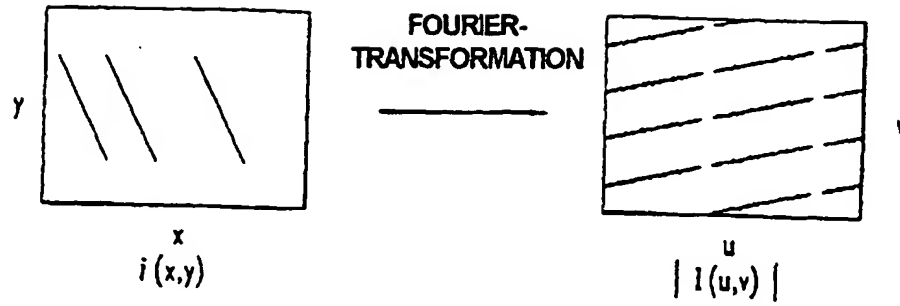


FIG. 5B

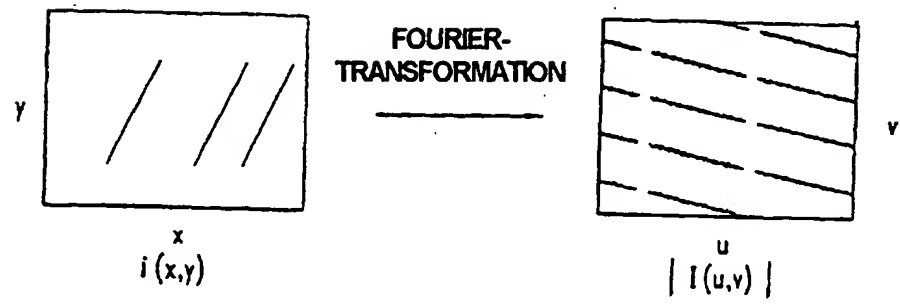


FIG. 6

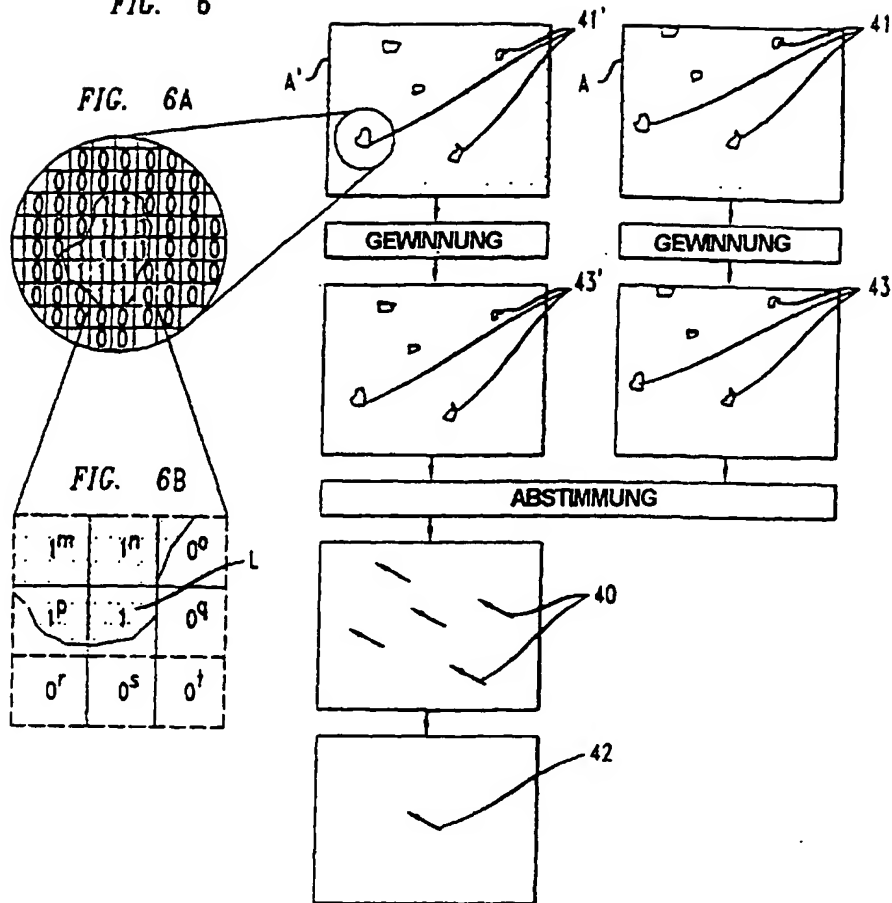


FIG. 7

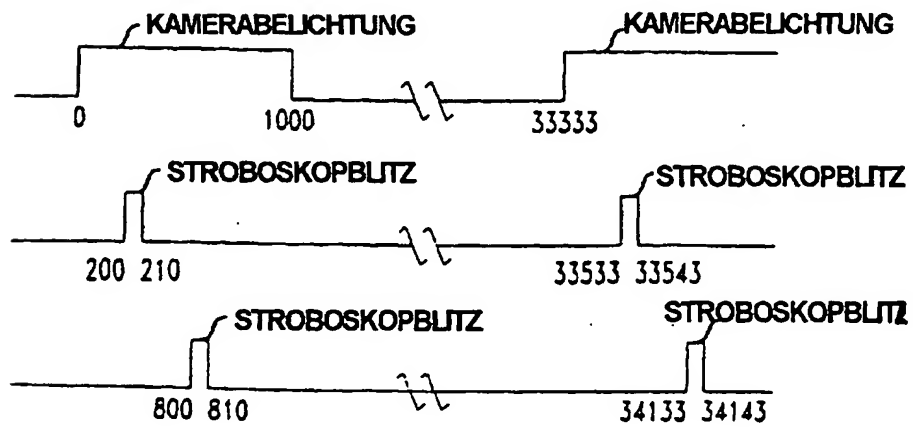


FIG. 8

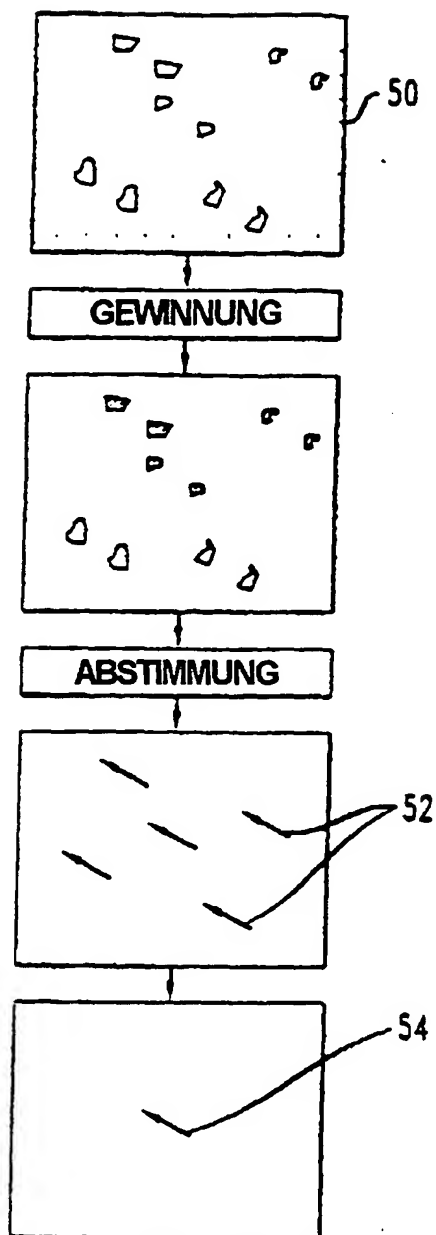


FIG. 9

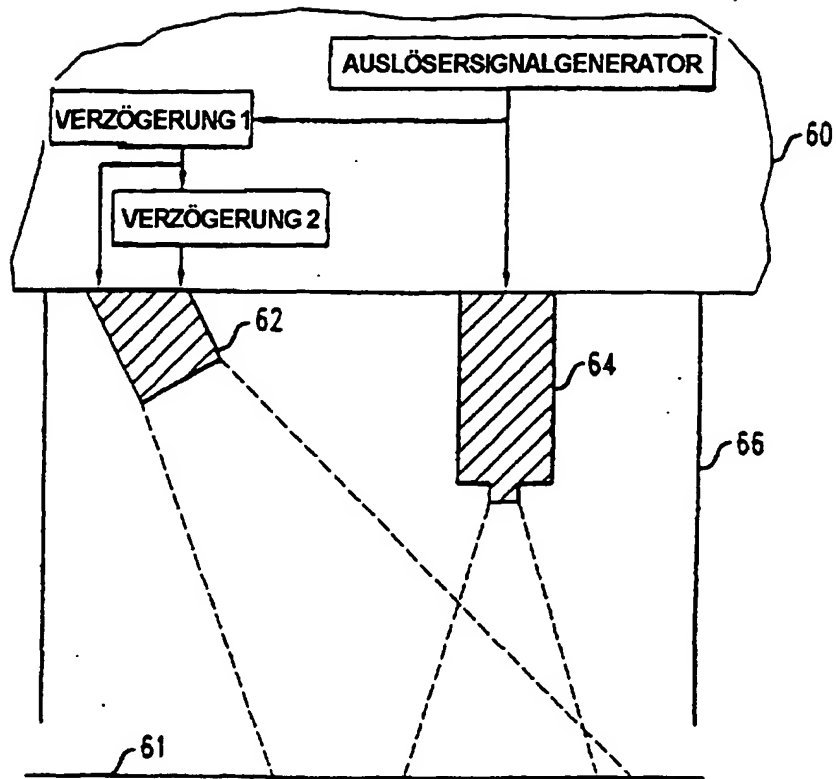


FIG. 10

